

	Elektroisolierstoffe Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens Teil 3: Anweisungen zur Berechnung thermischer Langzeitkennwerte (IEC 60216-3:2002) Deutsche Fassung EN 60216-3:2002	DIN EN 60216-3
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0304 Teil 23
ICS 29.035.01 Electrical insulating materials Thermal endurance properties Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics (IEC 60216-3:2002); German version EN 60216-3:2002 Matériaux isolants électriques Propriétés d'endurance thermique Partie 3: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique (CEI 60216-3:2002); Version allemande EN 60216-3:2002 Die Europäische Norm EN 60216-3:2002 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60216-3 wurde am 2002-03-01 angenommen. Daneben darf DIN VDE 0304-23 (VDE 0304 Teil 23):1985-09 noch bis 2005-03-01 angewendet werden. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 181.1 „Prüfverfahren für feste Isolierstoffe“ (AK 181.1.21 „Thermisches Langzeitverhalten“) der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 15E/2/CDV (VDE 0304 Teil 23):1996-04. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 15E „Methods of test“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2006 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Ein elektronischer Datenträger (CD-ROM), der das in Anhang E angegebene Computerprogramm enthält, ist ein wesentlicher Bestandteil der nationalen Umsetzung dieser Europäischen Norm. Fortsetzung Seite 2 und 62 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

DIN EN 60216-3 (VDE 0304 Teil 23):2002-10

Die Berechnungsbeispiele können wegen der endlichen Stellenzahl der Ausgangswerte und wegen der mit Algorithmen ermittelten Näherungswerte einiger Variablen keinen Anspruch auf Richtigkeit aller angegebenen wertanzeigenden Stellen erheben. Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen eines neu eingerichteten Computerprogramms sollte dies und die nationalen Fußnoten beachtet werden.

Änderungen

Gegenüber und **DIN VDE 0304-23 (VDE 0304 Teil 23):1985-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

IEC 60216-3:2002-02 stellt die Zusammenfassung von Vorgängernormen dar, enthält aber trotz wiederholter Überarbeitung einige Unzulänglichkeiten, wobei es sich vorwiegend um Unklarheiten redaktioneller Art handelt. Bei der Anwendung der vorliegenden Norm sollten die nationalen Fußnoten beachtet werden.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0304-23 (VDE 0304 Teil 23):1985-09

Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60216-1:2001	IEC 60216-1:2001	DIN EN 60216-1 (VDE 0304 Teil 21):2002-09	VDE 0304 Teil 21
HD 611.2 S1:1992	IEC 60216-2:1990	DIN IEC 60216-2 (VDE 0304 Teil 22):1996-12	VDE 0304 Teil 22
–	IEC 60493-1:1974	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

DIN EN 60216-1 (VDE 0304 Teil 21), *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 1: Warmlagerungsverfahren und Auswertung von Prüfergebnissen* (IEC 60216-1:2001); Deutsche Fassung EN 60216-1:2001

DIN IEC 60216-2 (VDE 0304 Teil 22), *Leitlinie zur Bestimmung thermischer Langzeiteigenschaften von Elektroisolierstoffen – Teil 2: Wahl der Prüfmerkmale* (IEC 60216-2:1990); Deutsche Fassung HD 611.2 S1:1992

Deutsche Fassung

Elektroisolierstoffe
Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens
Teil 3: Anweisungen zur Berechnung thermischer Langzeitkennwerte
(IEC 60216-3:2002)

Electrical insulating materials
Thermal endurance properties
Part 3: Instructions for calculating thermal
endurance characteristics
(IEC 60216-3:2002)

Matériaux isolants électriques
Propriétés d'endurance thermique
Partie 3: Instructions pour le calcul des
caractéristiques d'endurance thermique
(CEI 60216-3:2002)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2002-03-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 15E/162/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60216-2, ausgearbeitet von dem SC 15E „Methods of test“ des IEC/TC 15 „Insulating materials“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2002-03-01 als EN 60216-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt HD 611.3.1 S1:1992 und EN 60216-3-2:1995

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2005-03-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A, B und ZA normativ und sind die Anhänge C, D und E informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Ein elektronischer Datenträger (Diskette oder CD-ROM), der das in Anhang E angegebene Computerprogramm enthält, ist ein wesentlicher Bestandteil der nationalen Umsetzung dieser Europäischen Norm.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60216-3:2002 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe, Definitionen, Formelzeichen und Kurzzeichen.....	6
3.1 Begriffe.....	6
3.2 Formelzeichen und Kurzzeichen	7
4 Grundsätze der Berechnungen.....	10
4.1 Allgemeine Grundregeln	10
4.2 Vorbereitende Berechnungen.....	10
4.2.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren.....	11
4.2.2 Schwellenwertprüfungen	11
4.2.3 Zerstörende Prüfverfahren	11
4.3 Berechnungen zur Varianz	11
4.4 Statistische Überprüfungen	12
4.5 Ergebnisse	13
5 Anforderungen und Empfehlungen im Hinblick auf aussagefähige Berechnungen.....	13
5.1 Anforderungen an die Versuchsergebnisse	13
5.1.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren.....	13
5.1.2 Schwellenwertprüfungen	13
5.1.3 Zerstörende Prüfverfahren	13
5.2 Genauigkeit der Berechnungen.....	13
6 Berechnungsverfahren	14
6.1 Vorbereitende Berechnungen.....	14
6.1.1 Temperaturen und x -Werte.....	14
6.1.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren.....	14
6.1.3 Schwellenwertprüfungen	14
6.1.4 Zerstörende Prüfungen.....	14
6.1.5 Unvollständige Messreihen	17
6.2 Hauptgang der Berechnungen.....	17
6.2.1 Berechnung der Mittelwerte und Varianzen von Gruppen	17
6.2.2 Allgemeine Mittelwerte und Varianzen	18
6.2.3 Berechnungen zur Regression	19
6.3 Statistische Überprüfungen	19
6.3.1 Prüfung auf Gleichheit der Varianzen.....	19
6.3.2 Prüfung auf Linearität (F -Test)	20
6.3.3 Vertrauensgrenzen für die Erwartungswerte von X und Y	20
6.4 Thermisches Langzeitdiagramm.....	21
7 Berechnung und Anforderungen an die Ergebnisse	22

	Seite
7.1 Berechnung der thermischen Langzeitkennwerte	22
7.2 Zusammenfassung der statistischen Überprüfungen und Prüfbericht	22
7.3 Angabe der Ergebnisse.....	22
8 Prüfbericht	22
Anhang A (normativ) Flussdiagramm des Entscheidungsablaufes	24
Anhang B (normativ) Tabelle des Entscheidungsablaufes	25
Tabelle B.1 – Logische Entscheidungen und Operationen gemäß den Überprüfungen	25
Anhang C (informativ) Statistische Tabellen	26
Tabelle C.1 – Koeffizienten für die Berechnungen bei beschränkten Messreihen	26
Tabelle C.1 (Fortsetzung).....	27
Tabelle C.1 (Fortsetzung).....	28
Tabelle C.1 (Fortsetzung).....	29
Tabelle C.1 (Fortsetzung).....	30
Tabelle C.1 (Fortsetzung).....	31
Tabelle C.2 – Werte der F -Verteilung, $F_{0,95}$	32
Tabelle C.3 – Werte der F -Verteilung, $F_{0,995}$	32
Tabelle C.4 – Werte der t -Verteilung, $t_{0,95}$	33
Tabelle C.5 – Prüfwerte nach der χ^2 -Verteilung.....	33
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele	33
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele	34
Tabelle D.1— Berechnungsbeispiel 1 – Beschränkte Messreihen (Schwellenwertprüfungen)	34
Tabelle D.1 (Fortsetzung).....	35
Tabelle D.2 – Berechnungsbeispiel 2 – Vollständige Messreihen (Zerstörungsfreie Prüfungen)	36
Tabelle D.2 (Fortsetzung).....	37
Tabelle D.3 – Berechnungsbeispiel 3 – Messwerte aus zerstörenden Prüfungen	39
Anhang E (informativ) Datendatei für das Computerprogramm.....	41
E.1 Allgemeines	41
E.2 Aufbau der von dem Programm verwendeten Datendateien.	55
Tabelle E.1 – Daten aus zerstörungsfreien Prüfungen	55
Tabelle E.2– Daten aus zerstörenden Prüfungen	56
E.3 Datendatei für das Computerprogramm	57
Literaturhinweise	61
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	62

Einleitung

Die Reihe der Publikationen unter IEC 60216-3 war ursprünglich für vier Hauptabschnitte vorgesehen worden. Zwei von diesen sind veröffentlicht worden: IEC 60216-3-1 und IEC 60216-3-2. Die beiden übrigen Hauptabschnitte blieben in Beratung. Einer von diesen, Hauptabschnitt 4, wird nicht mehr benötigt, da der relative Temperaturindex nicht mehr bei den thermischen Langzeitkennwerten mit einbezogen wird. Der vorliegende Teil von IEC 60216 stellt nun eine Zusammenfassung der übrigen drei Hauptabschnitte dar unter Weglassung von Wiederholungen.

Gleichzeitig wurde der Anwendungsbereich erweitert, um eine größere Vielfalt von Ausgangswerten abzudecken, insbesondere in Hinblick auf unvollständige Messreihen, wie sie oft bei Schwellenwertprüfungen anfallen. Diese erweiterte Anwendungsmöglichkeit sollte zu einer wirtschaftlicheren Ausnutzung der für Warmlagerungen verfügbaren Zeit führen.

Ferner wurden einige kleinere Fehler in der mathematischen Handhabung beseitigt.

Die im vorliegenden Teil von IEC 60216 aufgeführten Verfahren wurden umfassend geprüft und angewandt, um Ergebnisse aus einer großen Gesamtheit von Messreihen in Übereinstimmung mit den anderen Teilen dieser Norm zu errechnen.

Die Norm IEC 60216, die die Bestimmung thermischer Langzeiteigenschaften von Elektroisolierstoffen betrifft, besteht aus verschiedenen Teilen:

Teil 1: Allgemeine Leitlinie für Warmlagerungsverfahren und für die Auswertung von Prüfergebnissen

Teil 2: Auswahl von Prüfkriterien

Teil 3: Anweisungen zur Berechnung thermischer Langzeitkennwerte

Teil 4-1: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Hauptabschnitt 1: Einzelkammerwärmeschränke

Teil 4-2: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Präzisionswärmeschränke für Temperaturen bis 300 °C

Teil 4-3: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Mehrkammerwärmeschränke

Teil 5: Leitlinie für die Anwendung von thermischen Langzeitkennwerten

ANMERKUNG Diese Reihe kann erweitert werden. Hinsichtlich Revisionen und neuer Teile ist für eine zeitgerechte Auflistung der jeweils gültige Katalog der IEC-Publikationen einzusehen.

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil von IEC 60216 legt die Berechnungsverfahren zur Herleitung thermischer Langzeitkennwerte aus Versuchsergebnissen fest, die gemäß den Anweisungen nach IEC 60216 Teil 1 und Teil 2 ermittelt wurden.

Die Versuchsergebnisse können aus zerstörungsfreien, zerstörenden oder Schwellenwertprüfungen erhalten werden. Die Messreihen aus zerstörungsfreien Prüfungen oder Schwellenwertprüfungen können unvollständig sein, da die Bestimmung der Ausfallzeiten zu einem beliebigen Punkt nach Erreichen des Medianes der Ausfallzeiten beendet werden kann, bevor alle Probekörper den Grenzwert erreicht haben.

Die Verfahren werden an durchgerechneten Beispielen erläutert und brauchbare Computerprogramme zur Erleichterung der Berechnungen empfohlen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 60216 sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieses Teils der IEC 60216 werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

IEC 60216-1:2001, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*.

IEC 60216-2:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 2: Choice of test criteria*.

IEC 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*.

3 Begriffe, Definitionen, Formelzeichen und Kurzzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teiles der IEC 60216 gelten folgende Begriffe:

3.1.1

geordnete Werte

Satz von Werten, so zu einer Folge zusammengestellt, dass in der richtigen Reihenfolge jedes Element größer ist als oder gleich groß wie sein Vorgänger

ANMERKUNG Ansteigende Folge bedeutet in dieser Norm, dass die Werte in der genannten Weise angeordnet sind, wobei der erste Wert der kleinste ist.

3.1.2

Reihenwerte

jeder Einzelwert in einem Satz von geordneten Werten wird einem Reihenwert zugeordnet, der durch seine Stellung als Ordinalzahl innerhalb der Folge gekennzeichnet ist

3.1.3

unvollständige Messreihe

Reihe von geordneten Werten, bei der die Werte oberhalb und/oder unterhalb von festgelegten Punkten nicht bekannt sind

3.1.4**beschränkte Messreihe**

unvollständige Messreihe, bei der die Anzahl der unbekannten Werte bekannt ist. Wenn die Beschränkung oberhalb/unterhalb eines festgelegten Messwertes erfolgt, ist dies eine Beschränkung Typ 1. Wenn dies oberhalb/unterhalb eines festgelegten Reihenwertes erfolgt, ist dies eine Beschränkung Typ 2

ANMERKUNG Diese Norm befasst sich nur mit Typ 2.

3.1.5**Freiheitsgrade**

Anzahl der Einzelwerte, vermindert um die Anzahl der Parameter

3.1.6**Varianz eines Satzes von Werten**

Summe der Quadrate der Abweichungen der Werte von einer Bezugsgröße, die durch einen oder mehrere Parameter festgelegt ist, z. B. ein Mittelwert (ein Parameter) oder eine Gerade (zwei Parameter, Steigung und Ordinatenabschnitt), geteilt durch die Anzahl der Freiheitsgrade

3.1.7**zweites zentrales Moment eines Satzes von Werten**

Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Einzelwerten und dem Mittelwert der Wertegruppe geteilt durch die Anzahl der Einzelwerte in dieser Gruppe

3.1.8**Kovarianz von Sätzen von Werten**

für zwei Gruppen von Werten mit gleicher Anzahl von Elementen, wobei jedem Element in einer Gruppe ein Element in der anderen zugeordnet werden kann, ist die Kovarianz die Summe der Produkte der Abweichungen zweier einander zugeordneter Elemente von den jeweiligen Gruppenmittelwerten geteilt durch die Anzahl der Freiheitsgrade

3.1.9**Regressionsanalyse**

Prozess zur Herleitung der am besten angepassten Geraden, die die Beziehung zwischen jeweils einander zugeordneten Elementen zweier Gruppen von Werten ausdrückt, durch Minimierung der Summe der Quadrate der Abweichungen der Elemente einer Gruppe von der Geraden

ANMERKUNG Die Parameter werden als „Regressionskoeffizienten“ bezeichnet.

3.1.10**Korrelationskoeffizient**

Zahl, die ausdrückt, wie vollständig die Beziehung zwischen den Elementen zweier Wertegruppen ist. Der Zahlenwert ist gleich der Kovarianz geteilt durch die Quadratwurzel des Produktes der Varianzen innerhalb der Gruppen

ANMERKUNG Der Wert ihres Quadrates liegt zwischen 0 (keine Korrelation) und 1 (vollständige Korrelation).

3.1.11**Grenzwertlinie**

Gerade parallel zur Zeitachse, die die Achse für die Eigenschaftswerte bei dem Grenzwert schneidet

3.2 Formelzeichen und Kurzzeichen

		Abschnitt
a	Regressionskoeffizient (Abschnitt auf y-Achse)	4.3, 6.2
a_p	Regressionskoeffizient bei Berechnungen für zerstörende Prüfungen	6.1
b	Regressionskoeffizient (Steigung)	4.3, 6.2
b_p	Regressionskoeffizient bei Berechnungen für zerstörende Prüfungen	6.1

		Abschnitt
b_r	Zwischenkonstante (Berechnung von $\bar{x}_c$)	6.3
c	Zwischenkonstante (Berechnung von χ^2)	6.3
f	Anzahl der Freiheitsgrade	Tabellen C.2, C.3
F	Stochastischer Prüfwert nach der Fisher-Verteilung	4.2, 6.1, 6.3
F_0	Tabellenwert von F (Linearität des thermischen Langzeitdiagramms)	4.4, 6.3
F_1	Tabellenwert von F (Linearität des Eigenschaftsdiagramms – Signifikanz 0,05)	6.1
F_2	Tabellenwert von F (Linearität des Eigenschaftsdiagramms – Signifikanz 0,005)	6.1
g	Ordnungszahl für die Lagerungszeit bei zerstörenden Prüfungen	6.1
h	Ordnungszahl des Eigenschaftswertes bei zerstörenden Prüfungen	6.1
HIC	Halbzeitintervall bei der zu T_l gehörenden Temperatur	4.3, 7
HIC _g	Halbzeitintervall zugehörig zu T_{lg}	7.3
i	Ordnungszahl der Lagerungstemperatur	4.1, 6.2
j	Ordnungszahl der Ausfallzeit	4.1, 6.2
k	Anzahl der Lagerungstemperaturen	4.1, 6.2
m_i	Anzahl der bei Temperatur ϑ_i gelagerten Probekörper	4.1, 6.1
N	Gesamtzahl der Ausfallzeiten	6.2
n_g	Anzahl der Eigenschaftswerte in der für die Zeit τ_g gelagerten Gruppe	6.1
n_i	Anzahl der Werte für y bei der Temperatur ϑ_i	4.1, 6.1
$\bar{p}$	Mittelwert der Eigenschaftswerte der ausgewählten Gruppen	6.1
p	Eigenschaftswert einer Prüfeigenschaft	6.1
P	Signifikanzniveau der χ^2 -Verteilung	4.4, 6.3.1
p_e	Eigenschaftswert der Prüfeigenschaft bei der Ausfallzeit für zerstörende Prüfungen (Grenzwert)	6.1
$\bar{p}_g$	Mittelwert der Eigenschaftswerte der für die Zeit τ_g gelagerten Gruppe	6.1
p_{gh}	Einzelwert der Eigenschaft	6.1
q	Basis von Logarithmen	6.3
r	Anzahl der Lagerungszeiten, die für eine Einbeziehung in die Berechnung ausgewählt wurden (zerstörende Prüfungen)	
r^2	Quadrat des Korrelationskoeffizienten	6.2.3
s^2	Gewichteter Mittelwert von s_1^2 und s_2^2	6.3
s_1^2	Gewichteter Mittelwert der Werte s_{1i}^2 , zusammengefasste Varianz innerhalb ausgewählter Gruppen	4.3, 6.1 – 6.3
$(s_1^2)_a$	Angepasster Wert von s_1^2	4.4, 6.3
s_{1g}^2	Varianz der Eigenschaftswerte der für die Zeit τ_g gelagerten Gruppe	6.1
s_{1i}^2	Varianz der Werte y_{ij} für die Temperatur ϑ_i	4.3, 6.2
s_2^2	Varianz in Bezug auf die Regressionsgerade	6, 6.1 – 6.3

Abschnitt

s_a^2	Angepasster Wert von s^2	6.3
s_r^2	Zwischenkonstante	6.3
s_Y^2	Varianz der Werte Y	6.3
t	Stochastische Variable nach der Student-Verteilung	6.3
t_c	Angepasster Wert von t (bei unvollständigen Messreihen)	6.3
TC	Untere 95 %-Vertrauensgrenze für TI	4.4, 7
TC _a	Angepasster Wert von TC	7.1
TI	Temperaturindex	4.3, 7
TI ₁₀	Temperaturindex bei 10 kh	7.1
TI _a	Angepasster Wert von TI	7.3
TI _g	Temperaturindex, der auf graphischem Wege oder ohne definierte Vertrauensgrenzen ermittelt wurde	7.3
x	Unabhängige Variable: Kehrwert der thermodynamischen Temperatur	
$\bar{x}$	Gewichteter Mittelwert der Werte x	6.3
X	Festgelegter Wert von x zur Ermittlung von y	6.3
$\bar{X}$	Erwartungswert von x bei festgelegtem Wert von y	6.3
$\hat{X}_c$	Obere 95 %-Vertrauensgrenze für $\bar{X}$	6.3
x_i	Kehrwert der ϑ_i entsprechenden thermodynamischen Temperatur	4.1, 6.1
$\bar{y}$	Gewichteter Mittelwert der Werte y	6.2
y	Abhängige Variable: Logarithmus der Ausfallzeit	
$\hat{Y}$	Erwartungswert von y bei einem festgelegten Wert von x	6.3
Y	Festgelegter Wert von y zur Ermittlung von x	6.3
$\hat{Y}_c$	Untere 95 %-Vertrauensgrenze für $\bar{Y}$	6.3
$\bar{y}_i$	Mittelwert der Werte y_{ij} bei der Temperatur ϑ_i	4.3, 6.2
y_{ij}	Wert von y , zugehörig zu τ_{ij}	4.1, 6.1
$\bar{z}$	Mittelwert der Werte z_g	6.1
z_g	Logarithmus der Lagerungszeit bei zerstörenden Prüfungen, Gruppe g	6.1
α	Koeffizient für die Varianz bei beschränkten Messreihen	4.3, 6.2
β	Koeffizient für die Varianz bei beschränkten Messreihen	4.3, 6.2
ε	Koeffizient für die Varianz des Mittelwertes bei beschränkten Messreihen	4.3, 6.2
Θ_0	Temperatur entsprechend 0 °C auf der thermodynamischen Skala (273,15 K)	4.1, 6.1
$\hat{\vartheta}$	Erwartungswert für die Temperatur zum Temperaturindex	6.3.3
$\hat{\vartheta}_c$	Vertrauensgrenze für die Temperatur $\hat{\vartheta}$	6.3.3
ϑ_i	Lagerungstemperatur für die Gruppe i	4.1, 6.1
μ	Koeffizient für den Mittelwert bei beschränkten Messreihen	4.3, 6.2
$\mu_2(x)$	Zweites zentrales Moment der x -Werte	6.2, 6.3

		Abschnitt
v	Gesamtzahl der bei einer Lagerungstemperatur ausgewählten Eigenschaftswerte	6.1
τ_f	Gewählte Ausfallzeit zur Ermittlung einer Temperatur	6.3
τ_{ij}	Ausfallzeiten	6.3
χ^2	Stochastische Variable nach der χ^2 -Verteilung	6.3

4 Grundsätze der Berechnungen

4.1 Allgemeine Grundregeln

Die allgemeinen Berechnungsverfahren und Anweisungen nach Abschnitt 6 beruhen auf den in IEC 60493-1 aufgestellten Grundregeln. Diese können in vereinfachter Form wie folgt ausgedrückt werden (siehe 3.7.1 IEC 60493-1):

- Die Beziehung zwischen den Logarithmen der Zeiten zum Erreichen eines festgelegten Grenzwertes (Ausfallzeit) und dem Kehrwert der thermodynamischen (absoluten) Temperatur ist linear.
- Die Werte der Abweichungen der Logarithmen der Ausfallzeiten von der linearen Beziehung sind normalverteilt mit einer Varianz, die unabhängig ist von der Warmlagerungstemperatur.

Die in den allgemeinen Berechnungsverfahren verwendeten Ausgangswerte werden aus den Versuchsergebnissen durch eine vorbereitende Rechnung erhalten. Die Einzelheiten dieser Berechnung hängen ab von der Art des Prüfverfahrens: zerstörungsfreie Prüfung, Schwellenwertprüfung oder zerstörende Prüfung (siehe 4.2). In allen Fällen bestehen die Ausgangsgrößen aus Werten für x , y , m , n und k , dabei bedeuten:

$x_i = 1/(\vartheta_i + \Theta_0)$ = Kehrwert des thermodynamischen Wertes der Warmlagerungstemperatur, ϑ_i in $^{\circ}\text{C}$,

$\Theta_0 = 273,15 \text{ K}$

$y_{ij} = \log \tau_{ij}$ Logarithmus des Wertes der Ausfallzeit j bei der Temperatur ϑ_i .

n_i = Anzahl der y -Werte in der Gruppe i , gelagert bei Temperatur ϑ_i .

m_i = Anzahl der Probekörper in Gruppe i , gelagert bei Temperatur ϑ_i , (abweichend von n_i bei beschränkten Messreihen).

k = Anzahl der Lagerungstemperaturen oder Gruppen von y -Werten.

ANMERKUNG Es kann jede Zahl als Basis der Logarithmen verwendet werden, solange diese bei den Berechnungen durchgehend beibehalten wird. Die Anwendung der natürlichen Logarithmen (Basis e) wird empfohlen, da die meisten Computerprogramme und wissenschaftlichen Rechner diese Möglichkeit bieten.

4.2 Vorbereitende Berechnungen

In allen Fällen werden die Kehrwerte der thermodynamischen Werte der Lagerungstemperaturen als Werte x_i errechnet.

Die Werte y_{ij} werden, wie unten angegeben, als die Logarithmen der Einzelwerte für die Ausfallzeit τ_{ij} errechnet.

In vielen Fällen von zerstörungsfreien und Schwellenwertprüfungen ist es aus wirtschaftlichen Gründen empfehlenswert (z. B. wenn die Streuung der Einzelwerte groß ist), die Warmlagerung zu beenden, bevor alle Probekörper den Grenzwert erreicht haben, zumindest bei einigen Temperaturgruppen. In solchen Fällen muss mit den verfügbaren Werten (x , y) das Verfahren zur Berechnung mit unvollständigen Ausgangswerten (siehe 6.2.1.2) durchgeführt werden.

Gruppen mit vollständigen oder unvollständigen Messreihen und Gruppen mit unterschiedlicher Beschränkung bei den verschiedenen Warmlagerungstemperaturen können zusammen innerhalb eines Rechnungsganges nach 6.2.1.2 bearbeitet werden.

4.2.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Zerstörungsfreie Prüfverfahren (z. B. Massenverlust infolge Alterung) liefern für jeden Probekörper direkt den Wert der Prüfeigenschaft jedes Mal, wenn diese nach Beendigung einer Warmlagerungsperiode gemessen wird. Die Ausfallzeit τ_{ij} ist daher stets verfügbar, entweder direkt oder durch lineare Interpolation zwischen aufeinander folgenden Messungen.

4.2.2 Schwellenwertprüfungen

Die Ausfallzeit τ_{ij} wird für einen einzelnen Probekörper als Zeit bis zur Mitte der Warmlagerungsperiode unmittelbar vor Erreichen des Grenzwertes angesetzt (IEC 60216-1, 6.3.2).

4.2.3 Zerstörende Prüfverfahren

Werden zerstörende Prüfverfahren angewandt, wird jeder Probekörper bei Ermittlung eines Eigenschaftswertes zerstört und seine Ausfallzeit kann daher nicht direkt gemessen werden.

Um Erwartungswerte für die Ausfallzeit zu erhalten, werden folgende Annahmen getroffen, die in der Umgebung des Grenzwertes gelten sollen:

- Die Beziehung zwischen dem Mittelwert der Eigenschaft und dem Logarithmus der Warmlagerungszeit ist angenähert linear.
- Die Abweichungen der Einzelwerte für die Eigenschaft von dieser linearen Beziehung sind normalverteilt mit einer Varianz, die unabhängig ist von der Warmlagerungszeit.
- Die Kurven der Eigenschaftswerte über dem Logarithmus der Zeit sind für die einzelnen Probekörper Geraden parallel zu derjenigen, die die Beziehung nach a) wiedergibt.

Für die Anwendung dieser Annahmen wird eine Alterungskurve gezeichnet nach den Messwerten, die für jede einzelne Warmlagerungszeit erhalten wurden. Die Kurve wird erhalten, indem die Mittelwerte der Eigenschaft für jede Prüfgruppe über dem Logarithmus der Warmlagerungszeit aufgetragen werden. Sofern dies möglich ist, wird die Warmlagerung bei den einzelnen Temperaturen so lange fortgeführt, bis der Mittelwert für mindestens eine Prüfgruppe jenseits des Grenzwertes liegt. Ein angenähert linearer Abschnitt dieser Kurve wird in der Umgebung des Grenzwertes eingezeichnet (siehe Bild D.2).

Eine statistische Überprüfung (F-Test) wird durchgeführt um festzustellen, ob in dem ausgewählten Bereich die Abweichungen von der Linearität noch zulässig sind (siehe 6.1.4.4). Falls dies zutrifft, werden in dem gleichen Diagramm die Punkte eingezeichnet, die den Eigenschaftswerten der einzelnen Probekörper entsprechen. Durch den Messpunkt für jeden einzelnen Probekörper wird eine Gerade parallel zu der Alterungsgeraden gezeichnet: Der Erwartungswert für den Logarithmus der Ausfallzeit (y_{ij}) dieses Probekörpers ist dann gleich dem Wert des Logarithmus der Zeit bis zum Schnittpunkt dieser Geraden mit dem Grenzwert (siehe Bild D.2).

Mit gewissen Einschränkungen ist auch eine Extrapolation der linearen Mittelwertkurve bis zum Niveau des Grenzwertes erlaubt.

Die oben genannten Operationen werden auf numerischem Wege in den Berechnungen nach 6.1.4 durchgeführt.

4.3 Berechnungen zur Varianz

Ausgehend von den Werten für x und y , nachdem diese wie oben angegeben ermittelt wurden, werden folgende Berechnungen durchgeführt:

Für jede Gruppe der Werte y_{ij} werden der Mittelwert $\bar{y}_i$ und die Varianz s_{ii}^2 berechnet und aus den letzteren die zusammengefasste Varianz innerhalb der Prüfgruppen s_1^2 unter Wichtung der einzelnen Gruppen entsprechend ihrer Größe.

Für unvollständige Ausgangswerte wurden die Berechnungen aus denjenigen entwickelt, die von Saw [1]¹⁾ erstellt wurden; sie sind in 6.2.1.2 aufgeführt. Die hierbei benötigten Koeffizienten (μ für den Mittelwert, α und β für die Varianz und ε zur Ermittlung der zusammengefassten Varianz der Mittelwerte aus den Varianzen der Prüfgruppen) sind in Anhang C, Tabelle C1 aufgeführt. Bei unterschiedlich großen Gruppen werden die Varianzen zusammengefasst, wobei sie entsprechend der Gruppengröße gewichtet werden. Der Mittelwert für die Gruppenwerte von ε wird ohne Wichtung bestimmt und mit der zusammengefassten Varianz multipliziert.

Aus den Mittelwerten $\bar{y}_i$ und den Werten für x_i werden die Koeffizienten a und b (die Koeffizienten für die am besten angepasste lineare Darstellung der Beziehung zwischen x - und y -Werten) durch lineare Regressionsanalyse ermittelt.

Mit den Regressionskoeffizienten werden die Werte für TI und HIC berechnet. Die Varianz der Abweichungen von der Regressionsgeraden wird aus den Regressionskoeffizienten und den Gruppenmittelwerten berechnet.

4.4 Statistische Überprüfungen

Folgende statistische Überprüfungen werden vorgenommen:

- Fisher-Test auf Linearität (F -Test) bei Ergebnissen aus zerstörenden Prüfungen vor der Berechnung der zu erwartenden Ausfallzeiten (siehe 4.2.3).
- Gleichheit der Varianzen (Bartlett's χ^2 -Test) zur Überprüfung, ob sich die Varianzen innerhalb der Gruppen von y -Werten in signifikantem Maße unterscheiden.
- F -Test: Um festzustellen, ob das Verhältnis der Abweichungen von der Regressionsgeraden zu der zusammengefassten Varianz innerhalb der Gruppen der y -Werte größer ist als der Bezugswert F_0 , d. h. um die Gültigkeit der Arrhenius-Beziehung bei Anwendung auf die Versuchsergebnisse nachzuprüfen.

Im Falle von Messergebnissen mit sehr geringer Streuung kann möglicherweise eine Nichtlinearität festgestellt werden, die zwar statistisch gesehen signifikant ist, jedoch keine praktische Bedeutung hat.

Um dennoch ein Gesamtergebnis zu erreichen, auch wenn der F -Test in dem zuvor genannten Sinne ein unzureichendes Resultat erbrachte, ist folgendes Verfahren vorgesehen:

- Der Wert der zusammengefassten Varianz innerhalb der Lagerungsgruppen (s_1^2) wird um den Faktor F/F_0 angehoben, so dass der F -Test ein gerade noch annehmbares Resultat erbringt (siehe 6.3.2).
- Dieser angepasste Wert (s_1^2)_a wird verwendet, um die untere Vertrauensgrenze des Ergebnisses zu berechnen: TC_a .
- Wenn der untere Vertrauensbereich ($TI - TC_a$) danach noch als zulässig befunden wird, ist die Nicht-Linearität als ohne praktische Bedeutung zu beurteilen (siehe 6.3.2).
- Aus den Komponenten für die Streuung der Messwerte (s_1^2) und (s_2^2) wird der Vertrauensbereich für einen Erwartungswert unter Verwendung der Regressionsgleichung berechnet.

Wenn der Temperaturindex (TI), seine untere Vertrauensgrenze (TC) und das Halbzeitintervall (HIC) errechnet wurden (siehe 7.1), wird das Ergebnis als zulässig betrachtet, wenn

$$TI - TC \leq 0,6 \text{ HIC} \quad (1)$$

ist.

Wenn der untere Vertrauensbereich ($TI - TC$) den Wert von 0,6 HIC um einen geringen Betrag überschreitet, kann ein brauchbares Ergebnis dennoch erreicht werden, vorausgesetzt $F \leq F_0$, indem der Wert von TI durch $(TC + 0,6 \text{ HIC})$ ersetzt wird (siehe 7.2).

¹⁾ Angaben in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schrifttum.

4.5 Ergebnisse

Der Temperaturindex (TI), sein Halbzeitintervall (HIC) und die zugehörige untere 95 %-Vertrauensgrenze (TC) werden aus der Regressionsgleichung berechnet, wobei – wie oben beschrieben – Zugeständnisse hinsichtlich kleinerer Abweichungen von den vorgeschriebenen Ergebnissen der statistischen Überprüfungen gemacht werden können.

Die Form, in der Temperaturindex und Halbzeitintervall angegeben werden, hängt von den Ergebnissen der statistischen Überprüfungen ab (siehe 7.2).

Es wird nachdrücklich auf die Notwendigkeit hingewiesen, das thermische Langzeitdiagramm als Teil des Prüfberichtes aufzuführen, da ein numerisches Ergebnis TI (HIC) allein keinen qualitativen Gesamtüberblick über die Versuchswerte bieten kann und ohne diesen eine Beurteilung der Ergebnisse nicht vollständig ist.

5 Anforderungen und Empfehlungen im Hinblick auf aussagefähige Berechnungen

5.1 Anforderungen an die Versuchsergebnisse

Die für die Berechnungsverfahren nach dieser Norm einzusetzenden Ausgangswerte müssen den Anforderungen nach IEC 60216-1, 5.1 bis 5.8, genügen.

5.1.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Für die meisten Prüfeigenschaften dieser Art sind Gruppen mit je fünf Probekörpern ausreichend. Wenn jedoch die Streuung der Ergebnisse (Vertrauensbereich, siehe 6.3.3) als zu groß befunden wird, lassen sich befriedigendere Ergebnisse leicht durch Verwendung einer größeren Anzahl von Probekörpern erreichen. Dies gilt besonders, wenn es sich als nötig erweist, die Warmlagerung zu beenden, bevor alle Probekörper den Grenzwert erreicht haben.

5.1.2 Schwellenwertprüfungen

Während der ersten Lagerungsperiode darf nicht mehr als ein Probekörper aus einer Gruppe den Grenzwert erreichen. Falls mehr als eine Gruppe solch einen Probekörper enthält, sollte das Prüfverfahren sorgfältig überprüft (siehe 6.1.3) und das Vorkommnis im Prüfbericht erwähnt werden.

Die Anzahl der Probekörper in jeder Gruppe sollte mindestens fünf betragen; aus praktischen Gründen ist die größte bearbeitbare Anzahl auf 31 beschränkt (siehe Tabelle C.1). Für die meisten Anwendungsfälle wird eine Anzahl von 21 empfohlen.

5.1.3 Zerstörende Prüfverfahren

Bei allen Lagerungstemperaturen sollte die Warmlagerung so lange fortgesetzt werden, bis der Mittelwert der Eigenschaft von mindestens einer Gruppe über dem Grenzwert und von mindestens einer darunter liegt. Unter besonderen Umständen und mit den gebotenen Einschränkungen kann eine kleine Extrapolation auf einen Eigenschaftsmittelwert jenseits des Grenzwertniveaus erlaubt sein (siehe 6.1.4.4). Dies ist jedoch nicht für mehr als eine Temperaturgruppe zulässig.

5.2 Genauigkeit der Berechnungen

Viele der Berechnungsschritte beinhalten eine Aufsummierung der Differenzen von Zahlen oder der Quadrate dieser Differenzen, wobei die Differenzen klein im Vergleich zu den Zahlen sein können. Unter diesen Umständen ist es erforderlich, die Berechnungen mit einer internen Genauigkeit von mindestens 6 wertanzeigenden Zifferstellen, vorzugsweise aber mehr, durchzuführen, damit eine Genauigkeit des Ergebnisses von drei Zifferstellen erreicht wird. Im Hinblick auf die sich wiederholende und umfangreiche Art der Berechnungen wird nachdrücklich empfohlen, diese unter Verwendung eines programmierbaren Rechners oder eines Kleincomputers auszuführen, wobei eine interne Genauigkeit von 10 oder mehr wertanzeigenden Zifferstellen leicht erreichbar ist.

6 Berechnungsverfahren

6.1 Vorbereitende Berechnungen

6.1.1 Temperaturen und x -Werte

Bei allen Arten der Prüfung wird die Warmlagerungstemperatur in K auf der thermodynamischen Temperaturskala ausgedrückt und ihr Kehrwert für die Verwendung als Wert x_i berechnet:

$$x_i = 1 / (\vartheta_i + \Theta_0) \quad (2)$$

wobei $\Theta_0 = 273,15$ K ist.

6.1.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Für die Probe mit Kennziffer j in der Gruppe mit Kennziffer i wird nach jeder Lagerungsperiode ein Eigenschaftswert erhalten. Von diesen Werten ausgehend wird, falls nötig durch lineare Interpolation, die Ausfallzeit ermittelt und deren Logarithmus als y_{ij} errechnet

6.1.3 Schwellenwertprüfungen

Für die Probe mit Kennziffer j in der Gruppe mit der Kennziffer i wird die Mitte der Lagerungsperiode unmittelbar vor Erreichen des Grenzwertes bestimmt und der Logarithmus der entsprechenden Lagerungszeit als Wert y_{ij} entnommen.

Ein Erreichen des Grenzwertes während der ersten Lagerungsperiode wird als ungültig angesehen. Entweder

- a) wird die Warmlagerung mit einer neuen Gruppe nochmals begonnen oder
- b) der betreffende Probekörper wird nicht berücksichtigt und die dieser Gruppe zugeschriebene Anzahl an Probekörpern (m_i) bei der Berechnung für beschränkte Messreihen um eins verringert.

Wenn der Grenzwert für mehr als einen Probekörper während der ersten Lagerungsperiode erreicht wird, wird die betreffende Gruppe verworfen und die Prüfung mit einer neuen Gruppe begonnen, wobei möglichen kritischen Punkten im Versuchsablauf besondere Aufmerksamkeit zukommen muss.

6.1.4 Zerstörende Prüfungen

An den Gruppen von Probekörpern, die bei der Temperatur ϑ_i gelagert worden waren, werden die in 6.1.4.1 bis 6.1.4.5 angegebenen Verfahren durchgeführt.

ANMERKUNG In den in 6.1.4.1 bis 6.1.4.4 auftretenden Ausdrücken wird der Index i nicht verwendet, um missverständliche mehrfache Index-Kombinationen zu vermeiden. Die Berechnungen in diesen Abschnitten müssen mit den Messwerten für jede Warmlagerungstemperatur getrennt vorgenommen werden.

6.1.4.1 Es werden der Mittelwert für die nach jeder Lagerungszeit erhaltene Gruppe von Eigenschaftswerten und der Logarithmus der Lagerungszeit berechnet. Diese Werte werden in ein Diagramm mit den Eigenschaftswerten p als Ordinate und dem Logarithmus der Lagerungsdauer z als Abszisse eingetragen (siehe Bild D.2). Durch die Eigenschaftsmittelwerte wird eine nach Augenmaß gut angepasste Kurve gelegt.

6.1.4.2 Es wird ein Zeitbereich ausgewählt, in welchem die so angepasste Kurve angenähert linear ist (6.1.4.4). Dabei ist sicherzustellen, dass dieser Zeitbereich zumindest drei Eigenschaftsmittelwerte einschließt mit mindestens einem von diesen auf jeder Seite der Grenzwertlinie $p = p_e$. Ist dies nicht der Fall und kann dies auch nicht durch zusätzliche Messungen nach längeren Lagerungszeiten erreicht werden (z. B. weil keine Probekörper mehr verfügbar sind), ist eine kleine Extrapolation gemäß den Bedingungen nach 6.1.4.4 zulässig.

Die Anzahl der ausgewählten Mittelwerte (und entsprechend die der Gruppen von Eigenschaftswerten) sei r , der Logarithmus der einzelnen Lagerungszeiten sei z_g und der Eigenschaftseinzelswert sei p_{gh} .

Dabei ist

$g = 1 \dots r$ die fortlaufende Kennziffer der ausgewählten Gruppe, geprüft nach Lagerungszeit τ_g ,

$h = 1 \dots n_g$ die fortlaufende Kennziffer des Eigenschaftswertes innerhalb der Gruppe mit der Kennziffer g ,

n_g die Anzahl der Eigenschaftswerte in der Gruppe mit Kennziffer g .

In den meisten Fällen ist die Anzahl n_g der nach verschiedenen Zeiten geprüften Probekörper gleich; dies ist jedoch keine notwendige Bedingung, denn die Berechnung kann mit unterschiedlichen Werten für n_g bei den verschiedenen Gruppen durchgeführt werden.

Der Mittelwert $\bar{p}_g$ und die Varianz s_{1g}^2 werden für jede ausgewählte Gruppe von Eigenschaftswerten berechnet:

$$\bar{p}_g = \sum_{h=1}^{n_g} p_{gh} / n_g \quad (3)$$

$$s_{1g}^2 = \left(\sum_{h=1}^{n_g} p_{gh}^2 - n_g \bar{p}_g^2 \right) / (n_g - 1) \quad (4)$$

Die Logarithmen der Lagerungszeiten τ_g werden berechnet:

$$z_g = \log \tau_g \quad (5)$$

6.1.4.3 Es werden folgende Werte berechnet:

$$v = \sum_{g=1}^r n_g \quad (6)$$

$$\bar{z} = \sum_{g=1}^r z_g n_g / v \quad (7)$$

$$\bar{p} = \sum_{g=1}^r \bar{p}_g n_g / v \quad (8)$$

Die Koeffizienten der Regressionsgleichung $p = a_p + b_p z$ werden berechnet nach:

$$a_p = \bar{p} - b_p \bar{z} \quad (9)$$

$$b_p = \frac{\left(\sum_{g=1}^r n_g z_g \bar{p}_g - v \bar{z} \bar{p} \right)}{\left(\sum_{g=1}^r n_g z_g^2 - v \bar{z}^2 \right)} \quad (10)$$

Die zusammengefasste Varianz innerhalb der Gruppen von Eigenschaftswerten wird berechnet:

$$s_1^2 = \sum_{g=1}^r (n_g - 1) s_{1g}^2 / (v - r) \quad (11)$$

Die gewichtete Varianz der Abweichungen der Eigenschaftsmittelwerte von der Regressionsgeraden wird berechnet

$$s_2^2 = \sum_{g=1}^r n_g (\bar{p}_g - \hat{p}_g)^2 / (r-2) \quad (12)$$

wobei

$$\hat{p}_g = a_p + b_p z_g \quad (13)$$

ist.

Dies kann auch ausgedrückt werden als

$$s_2^2 = \left[\left(\sum_{g=1}^r n_g \bar{p}_g^2 - v \bar{p}^2 \right) - b_p \left(\sum_{g=1}^r n_g z_g \bar{p}_g - v \bar{z} \bar{p} \right) \right] / (r-2) \quad (14)$$

6.1.4.4 Der F -Test auf Linearität bei einem Signifikanzniveau von 0,05 wird ausgeführt durch Berechnung von

$$F = s_2^2 / s_1^2 \quad (15)$$

Übersteigt der errechnete Wert von F den Tabellenwert F_1 mit den Freiheitsgraden $f_n = r - 2$ und $f_d = v - r$ (siehe [Tabelle C.2](#))

$$F_1 = F(0,95, r - 2, v - r)$$

wird die Auswahl nach [6.1.4.2](#) geändert und die Berechnung wiederholt.

Ist es nicht möglich, eine Erfüllung des F -Testes bei einem Signifikanzniveau 0,05 mit $r \geq 3$ zu erreichen, wird der F -Test bei einem Signifikanzniveau 0,005 durch Vergleich des berechneten Wertes von F mit dem Tabellenwert F_2 mit den Freiheitsgraden $f_n = r - 2$ und $f_d = v - r$ (siehe [Tabellen C.2](#) und [C.3](#))

$$F_2 = F(0,995, r - 2, v - r)$$

vorgenommen.

Ist die Forderung des Testes bei diesem Niveau erfüllt, können die Berechnungen fortgeführt werden, jedoch ist eine Anpassung des Temperaturindex TI nach [7.3.2](#) nicht zulässig.

Wenn dem F -Test bei einem Signifikanzniveau 0,005 (d. h. $F \leq F_2$) nicht entsprochen werden kann, oder wenn die nach [6.1.4.1](#) eingetragenen Eigenschaftswerte alle auf der gleichen Seite der Grenzwertlinie liegen, kann eine Extrapolation unter folgenden Bedingungen zulässig sein:

Wenn der F -Test bei einem Signifikanzniveau 0,05 für einen Bereich von Werten (mit $r \geq 3$) erfüllt wird, wobei alle Mittelwerte $\bar{p}_g$ auf der gleichen Seite des Grenzwertes p_e liegen, kann eine Extrapolation vorgenommen werden, vorausgesetzt, der Absolutbetrag der Differenz zwischen Grenzwert p_e und dem diesem am nächsten liegende Mittelwert $\bar{p}_g$ (üblicherweise $\bar{p}_r$) ist kleiner als das 0,25fache des Absolutbetrages der Differenz $(\bar{p}_1 - \bar{p}_r)$.

In diesem Falle können die Berechnungen weitergeführt werden, jedoch ist danach ebenfalls eine Anpassung des Temperaturindex TI nach [7.3.2](#) nicht zulässig.

6.1.4.5 Für jeden Eigenschaftswert in jeder der ausgewählten Gruppen wird der Logarithmus der erwarteten Ausfallzeit berechnet:

$$y_{ij} = z_g - (p_{gh} - p_e) / b_P \quad (16)$$

$$n_i = v \quad (17)$$

wobei

$j = 1 \dots n_i$ die fortlaufende Kennziffer des y -Wertes in der Gruppe der erwarteten y -Werte bei der Temperatur ϑ_i und z_g der Logarithmus der Warmlagerungszeit ist.

Die n_i -Werte für y_{ij} sind die Logarithmen der Zeitwerte, die bei den Berechnungen nach 6.2.1 verwendet werden.

6.1.5 Unvollständige Messreihen

Im Falle von unvollständigen Messreihen wird jede Gruppe von y -Werten in ansteigender Folge angeordnet (siehe 3.1.1).

6.2 Hauptgang der Berechnungen

6.2.1 Berechnung der Mittelwerte und Varianzen von Gruppen

Der Mittelwert und die Varianz der Gruppe von y -Werten y_{ij} , die für jede Temperatur ϑ_i erhalten wurden, werden berechnet.

6.2.1.1 Vollständige Messreihen

Für Prüfungen, bei denen die Messreihen vollständig (d. h. nicht beschränkt) vorliegen, können die üblichen Gleichungen verwendet werden:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} / n_i \quad (18)$$

$$s_{\bar{y}}^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - n_i \bar{y}^2 \right) / (n_i - 1) \quad (19)$$

Wahlweise können auch die Gleichungen für unvollständige Messreihen (6.2.1.2) benutzt werden, wenngleich sie für diesen Zweck weit weniger geeignet sind. Die Koeffizienten erhalten dann die folgenden Werte:

$$\alpha_i = 1 / (n_i - 1) \quad (20)$$

$$\beta_i = \frac{-1}{n_i (n_i - 1)} \quad (21)$$

$$\mu_i = 1 - 1 / n_i \quad (22)$$

6.2.1.2 Beschränkte Messreihen

Anstelle der Gleichungen (18) und (19) müssen die folgenden verwendet werden:

$$\bar{y}_i = (1 - \mu_i) y_{in_i} + \mu_i \sum_{j=1}^{n_i-1} \frac{y_{ij}}{(n_i - 1)} \quad (23)$$

$$s_{1i}^2 = \alpha_i \sum_{j=1}^{n_i-1} (y_{in_i} - y_{ij})^2 + \beta_i \left[\sum_{j=1}^{n_i-1} (y_{in_i} - y_{ij}) \right]^2 \quad (24)$$

Die Werte für μ_i , α_i und β_i sind den jeweils infrage kommenden Zeilen in [Tabelle C.1](#) zu entnehmen. Wenn die Messreihen nur teilweise beschränkt sind (d. h. wenn eine oder mehrere Temperaturgruppen vollständig und eine oder mehrere beschränkt sind), werden die Werte aus den Gleichungen (20) bis (22) hergeleitet.

6.2.2 Allgemeine Mittelwerte und Varianzen

Die Gesamtzahl N der y_{ij} -Werte, der gewichtete Mittelwert $\bar{x}$ der x -Werte und der gewichtete Mittelwert $\bar{y}$ der y -Werte werden berechnet:

$$N = \sum_{j=1}^k n_i \quad (25)$$

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^k n_i x_i / N \quad (26)$$

$$\bar{y} = \sum_{j=1}^k n_i \bar{y}_i / N \quad (27)$$

Bei beschränkten Messreihen wird die Gesamtzahl der Probekörper berechnet:

$$M = \sum_{j=1}^k m_i \quad (28)$$

Bei vollständigen Messreihen ist $M = N$.

Bei beschränkten Messreihen werden die Werte für ε_i aus [Tabelle C.1](#) entnommen. Bei vollständigen Messreihen, oder falls $n_i = m_i$ bei nur teilweise beschränkten Messreihen, ist $\varepsilon_i = 1$ gesetzt.

Der Faktor für die gemeinsame mittlere Varianz wird berechnet:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i / k \quad (29)$$

Die zusammengefasste Varianz innerhalb der Prüfgruppen wird berechnet:

$$s_1^2 = \varepsilon \sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_{1i}^2 / (N - k) \quad (30)$$